

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ: ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОПИТУ

КУРСОВА РОБОТА

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньою програмою "Енергетичний менеджмент та енергоефективні
технології" спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка"*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2020

Системи енергетичного менеджменту: Прогнозування енергетичного попиту: Курсова робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Г. Г. Стрелкова, О. С. Іщенко. – Електронні текстові дані (1 файл: 500 Кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 61 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 9 від 30.04.2020 р.)
за поданням Вченої ради Інституту енергозбереження та енергоменеджменту
(протокол № 12 від 28.04.2020 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ: ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОПИТУ КУРСОВА РОБОТА

Укладачі:	<i>Галина Георгіївна Стрелкова, канд.фіз.-мат. наук, Олександра Сергіївна Іщенко, аспірантка</i>
Відповідальний редактор	<i>Попов В.А., докт. техн. наук, завідувач кафедри електропостачання ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>
Рецензенти:	<i>Розен В.П., докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського Стрелков М.Т, канд. техн. наук, ст.наук.спів., доцент кафедри електропостачання ІЕЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>

У посібнику узагальнені та систематизовані теоретичні основи прогнозування енергетичного попиту, докладно наведений аналітичний, математичний та статистичний апарат моделей і методів прогнозування для виконання курсової роботи за темою «Системи енергетичного менеджменту: прогнозування енергетичного попиту» з кредитного модуля «Системи енергетичного менеджменту - 2. Курсова робота». У посібнику також надані статистичні підходи до оцінки точності прогнозів для прийняття обґрунтованих управлінських рішень в системах енергетичного менеджменту та енергетичному секторі.

Посібник призначений для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ	6
ПЕРЕДМОВА	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ «СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ - 2. КУРСОВА РОБОТА»	8
1.1 Опис кредитного модуля	8
1.2 Мета та завдання кредитного модуля	8
1.3 Індивідуальні завдання	10
1.4 Терміни виконання та захисту курсової роботи	11
1.5 Залік	11
1.6 Рейтингова система оцінювання результатів навчання	12
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОПИТУ	13
2.1 Прогнозування енергетичного попиту як інструмент прийняття ефективних управлінських рішень	13
2.2 Компоненти часових рядів: тренд, сезонність, циклічність та нерегулярність	15
2.3 Адитивна та мультиплікативна декомпозиція часового ряду	18
2.4 Загальна характеристика моделей прогнозування часових рядів заснованих на експоненціальному згладжуванні	21
2.5 Моделі прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування	22
2.5.1 Мультиплікативна трьохпараметрична лінійна модель експоненціального згладжування Холта-Уінтерса	23

2.5.2	Адитивна трьохпараметрична лінійна модель експоненціального згладжування Холта-Уінтерса.....	25
2.6	Вибір значень констант згладжування α , β та γ	27
2.7	Визначення початкових значень згладженого ряду L , тренду T та сезонності S	30
2.8	Статистичні методи оцінки похибки прогнозу часових рядів для вибору методу прогнозування енергетичного попиту	31
2.8.1	Оцінка точності прогнозу за значенням середнього абсолютного відхилення.....	32
2.8.2	Оцінка точності прогнозу за значенням абсолютної процентної похибки	33
2.8.3	Оцінка точності прогнозу за значенням середньої процентної похибки	34
2.8.4	Оцінка точності прогнозу за значенням середньоквадратичної похибки	35
2.8.5	Оцінка точності прогнозу за значенням кореня квадратного зі середньоквадратичної похибки	36
3	ТЕМА, ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ, МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ	37
4	СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ	39
4.1	Загальні вимоги до обсягу та структури пояснювальної записки курсової роботи	39
4.2	Вимоги до змісту та обсягу структурних елементів пояснювальної записки	40
5	ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	43

5.1	Загальні положення.....	43
5.2	Оформлення структурних елементів пояснювальної записки курсової роботи	43
5.3	Вимоги до нумерації	44
5.4	Вимоги до наведення формул та рівнянь	45
5.5	Вимоги до оформлення таблиць	45
5.6	Вимоги до графічних матеріалів.....	46
5.7	Правила оформлення бібліографічних описів та посилань	47
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		48
ДОДАТОК 1. Приклади типового змісту індивідуального завдання		50
ДОДАТОК 2. Приклади варіантів вихідних даних		52
ДОДАТОК 3. Орієнтовний перелік питань, які виносяться на захист курсової роботи		54
ДОДАТОК 4. Рейтингова система оцінювання результатів навчання.....		55
ДОДАТОК 5. Титульний аркуш пояснювальної записки курсової роботи		61

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

y_t - значення часового ряду в період часу t ;

$\hat{y}_{(t+p)}$ - прогноз на p періодів наперед;

p - кількість періодів в майбутньому, на яке будується прогноз;

I_t - нерегулярний компонент в період часу t ;

T_t - компонент тренду в період часу t ;

$T_{(t-1)}$ - компонент тренду для рівня $(t - 1)$;

S_t - сезонний компонент в період часу t ;

$S_{(t-s)}$ - сезонний компонент у попередньому сезоні, для рівня $(t - s)$;

$S_{(t-s+p)}$ - сезонний компонент за цей же період в останньому сезоні, який
необхідний для сезонного коригування прогнозу;

s - тривалість періоду сезонного коливання;

L_t - згладжене значення або оцінка для рівня t ;

$L_{(t-1)}$ - згладжене значення або оцінка для рівня $(t - 1)$;

α - константа згладжування рівня;

β - константа згладжування для оцінки тренду;

γ - константа згладжування для оцінки сезонності;

e_t - похибка прогнозу для даного періоду часу t ;

MAD - середнє абсолютне відхилення;

$MAPE$ - середня абсолютна процентна похибка;

MPE - середня процентна похибка;

MSE - середньоквадратична похибка;

$RMSE$ - корінь квадратний зі середньоквадратичної похибки.

ПЕРЕДМОВА

Виконання курсової роботи з кредитного модуля «Системи енергетичного менеджменту - 2. Курсова робота» націлене на формування у студентів фахових та загальних компетентностей, розширення базового комплексу знань з методології побудови моделей прогнозу енергетичного попиту, поглиблення умінь з вирішення фахово-орієнтованого індивідуального завдання з науково-технічних проблем у сфері електроенергетики та енергетичного менеджменту. Курсова робота є різновидом самостійної роботи студента, яка передбачає вирішення фахово-орієнтованого індивідуального завдання у вільний від аудиторних занять час.

Посібник складений відповідно до вимог робочої програми кредитного модуля. Призначенням видання є забезпечення навчально-методичної підтримки самостійної роботи здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» при виконанні курсової роботи.

Укладачами навчального посібника узагальнені та систематизовані теоретичні основи прогнозування енергетичного попиту, докладно наведений аналітичний, математичний та статистичний апарат моделей і методів прогнозування за темою індивідуального завдання. У посібнику надані статистичні підходи до оцінки точності прогнозів для прийняття обґрунтованих управлінських рішень в системах енергетичного менеджменту та енергетичному секторі. Посібник містить приклади індивідуальних завдань, питання для самоконтролю, перелік рекомендованої літератури, інформацію щодо теми науково-практичного дослідження курсової роботи, об'єкту, предмету, мети дослідження та завдань, розв'язок яких необхідний для досягнення поставленої мети. У посібнику наведені вимоги до структури, змісту та оформлення пояснювальної записки, термінів виконання, правил оцінювання та порядку захисту курсової роботи.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ «СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ - 2. КУРСОВА РОБОТА»

1.1 Опис кредитного модуля

Робоча програми кредитного модуля «Системи енергетичного менеджменту - 2. Курсова робота» ґрунтується на програмі навчальної дисципліни «Системи енергетичного менеджменту», що викладається для магістрантів першого року навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології».

1.2 Мета та завдання кредитного модуля

Метою кредитного модуля «Системи енергетичного менеджменту - 2. Курсова робота» є формування у студента здатностей застосовувати аналітичний, математичний та статистичний апарат управлінської економіки в енергетиці для розширення і поглиблення теоретичних знань та практичних умінь з прогнозування енергетичного попиту.

Згідно з освітньо-науковою програмою магістерської підготовки після засвоєння кредитного модуля студенти мають здобути наступні загальні та фахові компетентності.

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК 2. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації.

ЗК 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 6. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК 7. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями.

Фахові компетентності спеціальності (ФК):

ФК 1. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові і технічні методи для вирішення науково-технічних проблем і задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК 2. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК 3. Здатність планувати, організовувати та проводити наукові дослідження в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

Результатами навчання, які мають продемонструвати студенти після засвоєння кредитного модуля, є наступні знання та уміння.

Знання:

- знати основні положення управлінської економіки в енергетичному секторі щодо прийняття ефективних управлінських рішень;
- знати типові підходи управлінської економіки стосовно управлінських рішень з вибору і способу розподілу енергетичних ресурсів між альтернативними цілями і напрямками енерговикористання у системах енергетичного менеджменту;
- знати аналітичний, математичний та статистичний апарат методів та моделей прогнозування енергетичного попиту, які застосовуються управлінською економікою в енергетиці у вирішенні наукових та практичних завдань в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки;
- знати основні положення сучасних підходів до прогнозування енергетичного попиту для проведення наукових досліджень в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки;
- знати основні вимоги законодавчо-нормативної бази, що обумовлюють діяльність у сфері енергетики України.

Уміння:

- уміти обґрунтовувати вибір статистичних методів та моделей прогнозування енергетичного попиту для вирішення задач з прийняття управлінських рішень в області електроенергетики та систем енергетичного менеджменту;

- уміти приймати ефективні управлінські рішення в електроенергетичному секторі на підставі математичних методів та моделей управлінської економіки в енергетиці;
- уміти застосовувати статистичні методи та моделі прогнозування попиту та пропозиції на електричну енергію у практичних ситуаціях;
- уміти проводити статистичну оцінку точності прогнозів, отриманих на підставі різних методів та моделей прогнозування енергетичного попиту.
- уміти будувати прогнози та проводити статистичну оцінку точності отриманих результатів прогнозування енергетичного попиту;
- уміти застосовувати програмне забезпечення для статистичної обробки даних та побудови прогнозних моделей;
- уміти самостійно розв’язувати фахово-орієнтовані практичні задачі з управлінської економіки в енергетиці;
- уміти здійснювати пошук джерел ресурсної підтримки за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій для додаткового навчання та у наукових цілях.

1.3 Індивідуальні завдання

За формою навчального процесу курсова робота є індивідуальним завданням за визначеною темою, яке передбачає вирішення студентом фахово-орієнтованого навчального завдання певної складності. Рівень складності індивідуального завдання та вимоги до виконання курсової роботи визначені на підставі відведених на це 30 годин самостійної роботи студента.

Тема курсової роботи та фахова спрямованість типового індивідуального завдання для курсової роботи направлені на виконання завдань кредитного модуля «Системи енергетичного менеджменту - 2. Курсова робота». За своїм змістом типове індивідуальне завдання ґрунтується на матеріалах лекційних та практичних занять, які студент вивчає за першим та другим розділами програми цієї навчальної дисципліни.

При виконанні індивідуальних завдань студент повинен дотримуватися вимог Положення про систему запобігання плагіату в академічних текстах працівників та здобувачів вищої освіти КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Приклади типового змісту індивідуального завдання для курсової роботи та варіантів вихідних даних для проведення розрахунку наведені у Додатках 1-2.

1.4 Терміни виконання та захисту курсової роботи

Терміни виконання та захисту курсової роботи за темою «Системи енергетичного менеджменту: прогнозування енергетичного попиту» включають в себе три етапи, які охоплюють весь семестр. Перший етап охоплює 3-8 тижні 2 семестру. Впродовж першого етапу відбувається засвоєння теоретичного матеріалу курсової роботи, що надається студенту під час викладання лекцій та проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Системи енергетичного менеджменту». Другий етап охоплює 9-14 тижні 2 семестру. Цей етап включає видачу студенту індивідуального завдання, його виконання та здачу на перевірку пояснювальної записки курсової роботи. Третій етап охоплює 15-18 тижні 2 семестру. Цей етап включає підготовку студента до захисту та захист курсової роботи.

1.5 Залік

Семестровим контролем з кредитного модуля є залік. Як підсумковий вид контрольного заходу з кредитного модуля залік проводиться у формі захисту, до якого включені питання з усіх складових курсової роботи.

Для проведення заліку застосовується наступна методика: захист курсової роботи проводиться перед комісією і може включати додаткові питання за темою курсової роботи або з дисципліни, які задаються комісією. Орієнтовний перелік питань, які виносяться на захист курсової роботи наведені у Додатку 3. Шкала оцінювання захисту та підсумкова семестрова

залікова оцінка визначаються відповідно до положень рейтингової системи оцінювання (PCO) результатів навчання з кредитного модуля.

Залікова оцінка визначається за сумою балів, отриманих за виконання та захист курсової роботи.

Студент, який не захистив курсову роботу, вважається таким, що має академічну заборгованість.

1.6 Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Оцінювання результатів навчання студентів проводиться згідно «Положення про кредитно-модульну систему організації навчального процесу» та «Рейтингові системи оцінювання результатів навчання: Рекомендації до розроблення і застосування».

PCO ґрунтується на проведенні операційного контролю і накопичення рейтингових балів за навчально-пізнавальну діяльність студентів. За змістом PCO охоплює перелік контрольних заходів та вміщує критерії їх оцінювання, вагові бали та умови допуску до семестрової атестації.

Згідно до рекомендацій нормативних документів рейтингові бали студента з курсової роботи визначаються як підсумок наступних складових: балів, з якими студент виходить на захист курсової роботи, та балів, отриманих за захист курсової роботи. Перша складова включає бали з оцінювання пояснювальної записки, рівня засвоєння первинного теоретичного матеріалу, а також додаткових балів, які оцінюють своєчасність виконання завдань курсової роботи. Друга складова – це бальне оцінювання якості захисту курсової роботи (ступінь володіння матеріалом, аргументованість відповідей, тощо).

Положення про PCO наведені у Додатку 4.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОПИТУ

2.1 Прогнозування енергетичного попиту як інструмент прийняття ефективних управлінських рішень

З поглибленням ринкових відносин в українській енергетиці, що передбачається впровадженням Закону України «Про ринок електричної енергії» у 2017 р., постає проблема прийняття ефективних управлінських рішень в енергетичному секторі. Ринок електричної енергії є ринком реального часу, який функціонує згідно з власними специфічними правилами. Найважливішим є те, що електроенергія повинна поставлятися саме у той момент, коли з'явиться на неї попит. Навіть короткостроковий дисбаланс між попитом і пропозицією на ринку електроенергії може призвести до втрати стійкості енергосистеми. При цьому можливі дві ситуації: коли переважає пропозиція або коли переважає попит. В першому випадку створюють генеруючі та додаткові потужності для виробництва електроенергії в час пік. Такий стан речей призводить до зростання витрат, знижує ефективність діяльності суб'єктів ринку електричної енергії і у деяких випадках може порушувати інтереси споживачів.

Сьогодні надійне та безпечне забезпечення споживачів електричною енергією неможливе без поширення в енергетичному секторі інструментів управлінської економіки. Одними з найважливіших з них є математичні моделі та методи прогнозування попиту на електричну енергію. Завдяки прогнозуванню енергетичного попиту зменшується невизначеність при прийнятті управлінських рішень, тому чим краще рівень точності прогнозів, тим ефективнішими будуть прийняті управлінські рішення.

Прогнозування є обов'язковим чинником, що враховують при визначенні енергетичної політики, плануванні та управлінні як на рівні окремої компанії, так і на рівні електроенергетичного сектору та країни в цілому.

Прогнозування (грец. prognosis – знання наперед) – це процес формування прогнозів на основі аналізу тенденцій і закономірності розвитку об'єкта. Прогнозування зобов'язане, таким чином, відповісти на два питання: чого ймовірніше всього можна очікувати в майбутньому і яким чином потрібно впливати на умови, щоб досягнути заданої мети (стану).

Прогнозування спрямоване на зменшення невизначеності при прийнятті рішень на пошук ефективних управлінських рішень в енергетичному секторі. Чим вище рівень прогнозів, тим ефективніші прийняті рішення і прогноз надає інформацію для вибору оптимального рішення. Тому завданнями економічного прогнозування, що застосовується в управлінській економіці в енергетиці, є визначення перспективи близького та майбутнього розвитку, на підставі процесів, що склалися в реальній дійсності. Основними особливостями економічного прогнозування є системний підхід, який розглядає кожне економічне явище (процес, об'єкт) як систему, яка побудована з окремих елементів, які пов'язані між собою і забезпечують певні властивості явища. Вивчення та інтеграція певних ознак окремих елементів у єдине ціле дозволяє оцінити стан явища у майбутньому. Історичний підхід економічного прогнозування дозволяє розглядати усі явища та процеси у динаміці як рух від минулого до теперішнього, від теперішнього до майбутнього. Кількісні методи прогнозування базуються на математичному моделюванні.

Прогноз – це ймовірне, аргументоване, науково обґрунтоване (тобто основане на системі фактів, доказів) судження про стан будь-якого об'єкту (процесу, явища) в визначений момент часу в майбутньому або про альтернативні шляхи і строки досягнення запланованих результатів.

Прогнози є необхідною складовою успішної діяльності енергетичних компаній у сьогоdnішньому постійно мінливому та дуже інтерактивному бізнес-середовищі. При впровадженні систем енергетичного менеджменту потреба в прогнозах існує для всіх функціональних напрямків діяльності організацій будь якого типу. Прогноз є одним із вирішальних факторів

формування стратегії і тактики підприємств. Кожне підприємство користується прогнозами, тому що повинно планувати майбутній попит на електричну енергію.

Споживачем прогнозу може бути організація, підприємство, установа або окрема особа, що використовує результати прогнозів, а також у ряді випадків формулює завдання на прогноз. Зазвичай для окремої компанії розглядається складання прогнозів для найважливіших змінних. Наприклад, для енергокомпаній - це прогноз щомісячних продажів електроенергії, для фірм – це прогноз обсягу продажів (або виробництва) та пов'язаний з цим попит на енергію, необхідний для діяльності фірми. Короткострокові прогнози мають часовий горизонт від 1 місяця до 1 року. В системах енергетичного менеджменту – це поточні плани діяльності підприємств, плани виробництва та енергоспоживання. Такі прогнози використовують при розробці квартальних і річних планів. Невизначеність тут дещо вища в порівнянні з оперативним прогнозуванням. Особа, яка приймає рішення, може активно впливати на хід процесів, які відбуваються.

2.2 Компоненти часових рядів: тренд, сезонність, циклічність та нерегулярність

У прогнозуванні попиту дуже часто найбільш доцільною формою представлення даних є часовий ряд. За допомогою часових рядів можна скласти прогноз попиту, виходячи з минулих моделей закупівлі клієнтів компанії. Ключовими властивостями часових рядів, або компонентами часових рядів в енергетичній статистиці, є тренд, сезонність, циклічність та нерегулярність. При цьому, часові ряди можуть містити як один компонент (тренд, сезонність, циклічність або нерегулярність), так і декілька таких компонентів одночасно.

Структуру часового ряду в деяких випадках можна визначити графічно. Це стосується, наприклад, таких компонент ряду, як тренд і сезонні коливання. Однак слід пам'ятати, що при графічному аналізі випадковість

помилково може бути сприйнята як структура, якої в дійсності не існує, і, навпаки, за шумом може бути прихована структура, яка не береться до уваги.

Кожен рівень часового ряду формується під впливом великої кількості чинників, які спричиняють закономірність або випадковість його формування. Виявлення та аналіз компонент часового ряду необхідні для вибору методу прогнозування, тому важливим кроком при аналізі часового ряду є його декомпозиція (або розкладання на компоненти).

Завдання декомпозиції часового ряду полягає в аналізі чинників, що впливають на значення його рівнів, у вирізненні серед них головних і випадкових, а потім серед головних - еволюційних та періодичних (сезонних, циклічних).

Еволюційні чинники визначають загальний напрям розвитку економічного показника, провідну його тенденцію (тренд). Сезонна й циклічна компоненти визначають регулярні коливання ряду. Випадкові чинники не підлягають вимірюванню і супроводжують будь-який економічний процес і визначають стохастичний характер його елементів.

Тому в аналізі часових рядів прийнято представляти часовий ряд у вигляді суми систематичної складової та випадкового відхилення від неї:

$$y_t = f(t) + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

де $f(t)$ - не випадкова функція часу (детермінована частина, систематична складова);

ε_t - випадкова, недетермінована частина.

Детермінована частина у рівнянні (2.1) може включати компонент тренду, сезонний компонент та циклічний компонент.

Компонент тренду - це довгострокова не випадкова складова часового ряду, яка представляє зростання чи зменшення часового ряду протягом тривалого періоду часу. Коли дані зростають або зменшуються протягом декількох часових періодів, у часовому ряді існує тенденція (або тренд). З точки зору прогнозного моделювання, тренд є найважливішою складовою

часового ряду. Основними чинниками, які впливають і допомагають пояснити тенденцію часового ряду, є зміни кількості населення, ціни, переваг споживачів, технологій, продуктивності праці, показників інфляції тощо. Компонент тренду описується за допомогою функції, яка буде далі позначатися символом T .

Сезонний компонент. На велику кількість економічних даних впливає пора року. Сезонні коливання мають періодичний характер упродовж одного року з більш-менш стійкою структурою, яка з'являється щорічно і повторюється рік за роком. Сезонні структури виникають через вплив погоди або через події, пов'язані з календарем, такі як шкільні канікули та державні свята. Наприклад, попит на мазут зростає взимку і падає в теплі місяці. Сезонні коливання, як правило, виявляються в даних щокварталу, щомісяця або щотижня. Таким чином, сезонний компонент вимірюється щоквартально, щомісячно або щотижнево. Для місячного ряду сезонний компонент вимірює мінливість даних кожного січня, кожного лютого тощо; для квартального часового ряду є чотири сезонні елементи - по одному на кожен квартал. Тому у ряду щомісячних даних слід очікувати наявності сезонних коливань із періодом 12, у квартальних рядах - із періодом 4. Сезонний компонент позначається символом S .

Циклічний компонент (або кон'юнктурні коливання) - це хвилеподібні коливання, які схожі на сезонні, але виявляються на триваліших інтервалах часу. Зазвичай, один цикл завершується протягом декількох років. Часовий ряд із циклічною складовою має циклічний пік і спад. Циклічні коливання пояснюються дією довготермінових циклів економічної, демографічної або кліматичної природи, втім, як правило, до циклічних коливань призводить зміна економічних умов. Наприклад, продажі дорогих предметів, таких як нові будинки, нові машини, нові меблі тощо, як правило, падають, коли економіка впадає в рецесію. З іншого боку, попит на основні споживчі товари менше залежить від зміни економічних умов. Циклічний компонент описується за допомогою функції, яка позначатися символом C .

Нерегулярна (або випадкова) складова. Нерегулярний компонент складається з непередбачуваних або випадкових коливань. Вплив випадкових подій, які окремо можуть бути не особливо важливими, але комбінований ефект може бути великим, наприклад, землетруси або раптові зміни погоди. За своєю природою ці наслідки абсолютно непередбачувані. Нерегулярний компонент позначається символом I .

2.3 Адитивна та мультиплікативна декомпозиція часового ряду

Однією з причин декомпозиції часового ряду є виділення та вивчення компонентів ряду. Методи декомпозиції ґрунтуються на аналізі окремих компонентів часового ряду. Для вивчення компонентів часового ряду необхідно розглянути як тренд, сезонність, циклічність та нерегулярність співвідносяться з вихідними даними ряду.

Після виділення компонентів їх можна комбінувати для прогнозування майбутніх значень часового ряду шляхом визначення моделі, яка виражає змінну часового ряду з урахуванням компонентів T , S , C та I . Суттєвість кожного компонента оцінюється окремо і потім включається в модель, що пояснює поведінку часового ряду. Частіше за все розкладання (декомпозиція) часового ряду відбувається за такими варіантами моделей: модель тренду, модель сезонності та тренд-сезонна модель.

Для розкладання часового ряду та побудови моделі використовують наступні два методи: адитивна декомпозиція та мультиплікативна декомпозиція, які дозволяють побудувати відповідно адитивну та мультиплікативну моделі. В адитивних та мультиплікативних моделях короткострокових прогнозів зазвичай використовують лише три компоненти T , S та I . Кожен з цих компонентів за будь-якою моделлю має бути виділеним та розрахованим. Отримані оцінки компонентів далі використовуються для прогнозування досліджуваного часового ряду. В адитивних та мультиплікативних моделях часто застосовують так звані процедури усереднення або згладжування, завдяки чому зменшується вплив

нерегулярної, випадкової складової часового ряду. Внаслідок цього стають більш наявними детерміновані, систематичні складові часового ряду - тренд, сезонність та циклічність.

Адитивна модель (модель адитивних компонентів або модель адитивної декомпозиції) виражає значення часового ряду як суму компонентів. Для короткострокових прогнозів за наявності трьох компонентів T , S та I адитивна модель має наступний вигляд:

$$y_t = T_t + S_t + I_t, \quad (2.2)$$

де y_t - значення часового ряду в період часу t ;

T_t - компонент тренду в період часу t ;

S_t - сезонний компонент в період часу t ;

I_t - нерегулярний компонент в період часу t .

Кожен компонент у рівнянні (2.2) має індекс t для позначення конкретного періоду часу. Період часу може вимірюватися тижнями, місяцями, кварталами, роками тощо. Компоненти обробляються шляхом надання ваг усім елементам часового ряду.

Адитивна модель є найкращою, якщо часовий ряд має приблизно постійну однакову варіабельність компонентів по всій довжині ряду (рис.2.1).

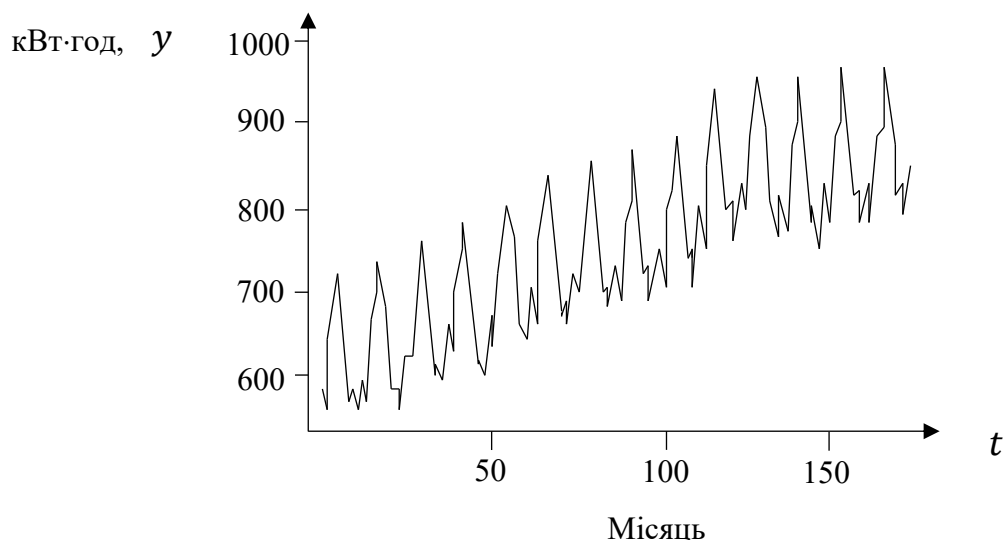


Рисунок 2.1 - Часовий ряд з постійною варіабельністю компонентів тренду та сезонності

Мультиплікативна модель (модель мультиплікативних компонентів або модель мультиплікативної декомпозиції) виражає значення часового ряду як добуток компонентів. Для короткострокових прогнозів за наявності трьох компонентів T , S та I мультиплікативна модель має наступний вигляд

$$y_t = T_t \cdot S_t \cdot I_t, \quad (2.3)$$

де y_t - значення часового ряду в період часу t ;

T_t - компонент тренду в період часу t ;

S_t - сезонний компонент в період часу t ;

I_t - нерегулярний компонент в період часу t .

Використовуючи рівняння (2.3) та властивості логарифмів, мультиплікативну модель можна перетворити в адитивну:

$$\log y_t = \log(T_t \cdot S_t \cdot I_t) = \log T_t + \log S_t + \log I_t.$$

Мультиплікативна модель працює найкраще, коли варіабельність часових рядів змінюється з кожним наступним рівнем. Часові ряди з варіабельністю, що збільшується з рівнем, показані на рисунку 2.2.

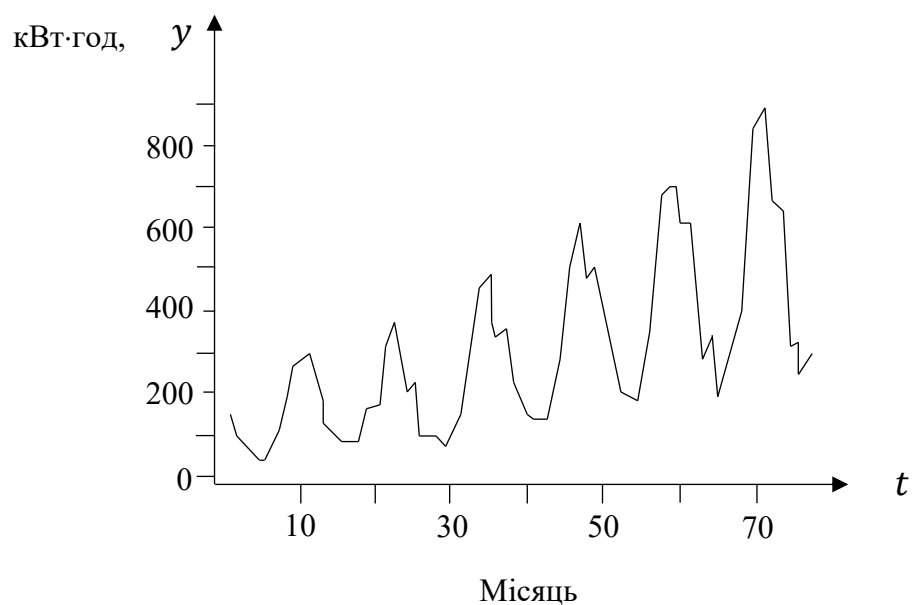


Рисунок 2.2 - Часовий ряд з варіабельністю компонентів тренду та сезонності, що збільшується з рівнем часового ряду

2.4 Загальна характеристика моделей прогнозування часових рядів заснованих на експоненціальному згладжуванні

У залежності від особливостей структури часового ряду історичні дані можна згладити багатьма способами. При створенні коротко- та середньострокових прогнозів поряд з наївними моделями та моделями, заснованими на методах усереднення, дуже ефективними є моделі прогнозування часових рядів із застосуванням експоненціального згладжування. При експоненціальному згладжуванні, як і у вищезазначених моделях для отримання прогнозу на певний період часу, використовуються всі минулі значення часового ряду. У цих моделях робиться припущення, що минулі значення містять інформацію про те, що відбуватиметься в майбутньому. Однак минулі значення включають як випадкові коливання, так й інформацію, що стосується основної структури ряду. Тому передбачається, що завдяки експоненціальному згладжуванню надзвичайні коливання, які представляють випадковість у ряді історичних спостережень, будуть усунені, а не випадкова інформація усіх спостережуваних значень ряду буде збережена.

Відмінністю моделей експоненціального згладжування є те, що часовий ряд згладжується за допомогою експоненціально зваженої середньої, в якій ваги підпорядковуються експоненціальному закону. Внаслідок зміни ваги значень впродовж часового ряду початкові та останні значення часового ряду розрізняються за своїм впливом на прогноз. Прогнози за такими моделями передбачають регулярний перерахунок по закінченні останнього періоду і появі нових даних для прогнозу.

Розроблено багато моделей експоненціального згладжування, але у більшості практичних випадків для побудови прогнозу найчастіше застосовуються наступні три моделі.

Модель прогнозу часових рядів за методом простого експоненціального згладжування застосовується у випадках, коли часовий ряд не містить

складової тренду та сезонної складової. За цією моделлю вважається, що часовий ряд даних має лише випадкову компоненту. Побудова прогнозу за цією моделлю заснована на найпростішому методі згладжування – методі експоненціально зваженого середнього.

Модель прогнозу часових рядів за методом подвійного експоненціального згладжування застосовується у випадках, коли часовий ряд крім випадкової компоненти також містить компонент тренду, але немає сезонної складової. Для побудови прогнозу в такій моделі використовується метод Холта (Holt method).

Модель прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування застосовується, коли ряд містить крім випадкової компоненти і компоненти тренду, ще й сезонну складову. Для побудови прогнозу в такій моделі використовується метод Уінтерса (Winters method). Інколи цей метод також називають методом Холта-Уінтерса.

2.5 Моделі прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування

Моделі прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування будується за допомогою метода Холта-Уінтерса (Holt-Winters). Такі моделі застосовуються, якщо ряд містить компоненти тренду, сезонності і випадкову складову.

Вперше трьохпараметрична лінійна сезонна модель експоненціального згладжування для прогнозування часових рядів, в структурі яких є тренд, сезонність та випадкова компонента, була запропонована П. Уінтерсом (Peter Winters) у 1960 р. Метою розробки цієї моделі було зменшення похибки прогнозу за наявності у структурі часового ряду сезонних коливань.

За своєю сутністю ця модель базується на методі Холта, але завдяки підходу, який запропонував П. Уінтерс, була ще також врахована сезонність. Оскільки його підхід є модифікацією методу Холта, то цю модель ще також називають моделлю Холта-Уінтерса.

Перевагою даної моделі є можливість зробити прогноз на тривалий період, наприклад на рік наперед. Втім слід зазначити: для того, щоб зробити більш-менш точний прогноз, наприклад, на 1 рік наперед, знадобляться дані, як мінімум, за 2 повних попередніх роки, але краще мати дані за 3 - 5 повних попередніх років.

Існує два різновиди моделі Холта-Уінтерса, які відрізняються методом розкладання часового ряду відносно сезонного компонента. Одна з них застосовує мультиплікативну декомпозицію часового ряду відносно сезонної компоненти і називається мультиплікативною моделлю експоненціального згладжування Холта-Уінтерса. Друга побудована за методом адитивної декомпозиції часового ряду відносно сезонної складової, тому така модель називається адитивною моделлю Холта-Уінтерса.

Слід пам'ятати, що сезонність - це загальна характеристика часового ряду, яка може проявлятися у двох різних формах: мультиплікативній та адитивній. Тому для вибору відповідної моделі складання прогнозів необхідно визначити форму (або характер) сезонності, оскільки саме характером сезонної складової буде визначатися вибір способу декомпозиції часового ряду.

2.5.1 Мультиплікативна трьохпараметрична лінійна модель експоненціального згладжування Холта-Уінтерса

Прогноз за мультиплікативною моделлю Холта-Уінтерса будується на декілька періодів прогнозування p для часового ряду, що має тренд та сезонність. Ця модель побудована на чотирьох рівняннях: експоненціально-згладженого ряду L_t (базова лінія), тренду T_t (нахил) та коефіцієнту сезонності S_t та прогнозу $\hat{y}_{(t+p)}$.

При мультиплікативній формі амплітуда сезонних коливань змінюється пропорційно з рівнем ряду (див. рисунок 2.3).

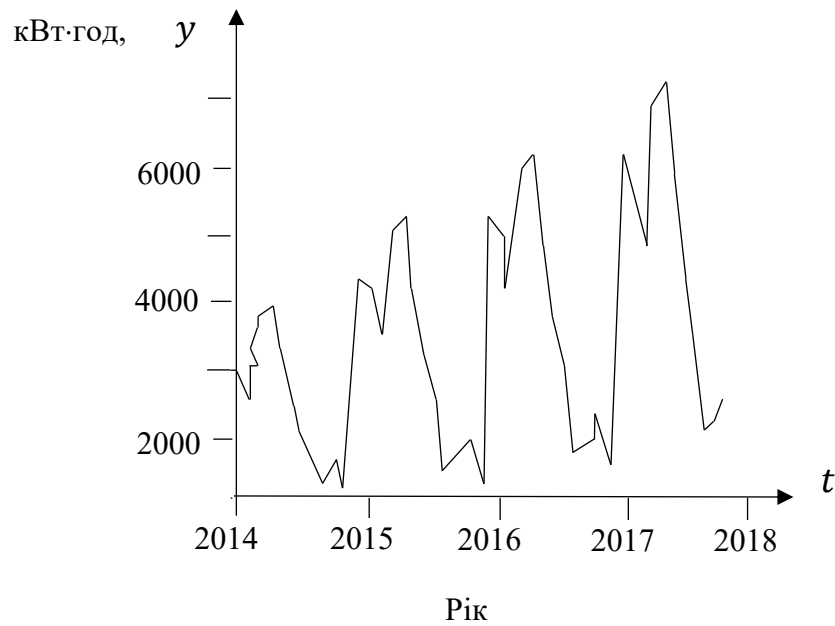


Рисунок 2.3 - Мультиплікативна форма амплітуди сезонних коливань часового ряду

Розглянемо далі докладніше мультиплікативну трьохпараметричну лінійну модель експоненціального згладжування Холта-Уінтерса.

Позначимо тривалість періоду сезонного коливання як s : для місяців у році тривалість періоду сезонного коливання складатиме $s = 12$, для днів у тижні — $s = 7$, для кварталів у році — $s = 4$. Тоді для всіх $i > s$ мультиплікативна трьохпараметрична лінійна модель експоненціального згладжування Холта-Уінтерса буде описуватися наступною системою рівнянь.

Рівняння прогнозу на p періодів наперед:

$$\hat{y}_{(t+p)} = (L_t + pT_t) \cdot S_{(t-s+p)}, \quad (2.4)$$

де $\hat{y}_{(t+p)}$ - прогноз на p періодів наперед;

L_t - згладжене значення або оцінка для рівня t ;

p - кількість періодів в майбутньому, на яке будується прогноз;

T_t - компонент тренду для рівня t ;

$S_{(t-s+p)}$ - сезонний компонент за цей же період в останньому сезоні, який необхідний для сезонного коригування прогнозу;

s - тривалість періоду сезонного коливання.

Рівняння експоненціально згладженого ряду:

$$L_t = \alpha \frac{y_t}{S_{(t-s)}} + (1 - \alpha)(L_{(t-1)} + T_{(t-1)}) , \quad (2.5)$$

де α - константа згладжування рівня;

y_t - фактичне значення величини для рівня t ;

$S_{(t-s)}$ - сезонний компонент у попередньому сезоні для рівня $(t - s)$;

$L_{(t-1)}$ - згладжене значення або оцінка для рівня $(t - 1)$;

$T_{(t-1)}$ - компонент тренду для рівня $(t - 1)$.

Рівняння компоненту тренду:

$$T_t = \beta(L_t - L_{(t-1)}) + (1 - \beta) \cdot T_{(t-1)} , \quad (2.6)$$

де β - константа згладжування для оцінки тренду.

Рівняння компоненту сезонності:

$$S_t = \gamma \frac{y_t}{L_t} + (1 - \gamma) \cdot S_{(t-s)} , \quad (2.7)$$

де γ - константа згладжування для оцінки сезонності;

S_t - сезонний компонент для рівня t .

Як можна побачити, в мультиплікативній моделі Холта-Уінтерса сезонний компонент у рівнянні (2.7) є відносною величиною (коефіцієнтом), а ряд у рівнянні (2.5) коригується шляхом ділення на величину сезонного компонента.

2.5.2 Адитивна трьохпараметрична лінійна модель експоненціального згладжування Холта-Уінтерса

При адитивній сезонності амплітуда сезонного коливання не залежить від рівня ряду. Сезонні коливання є приблизно постійними по всьому часовому ряду (див. рисунок 2.4).

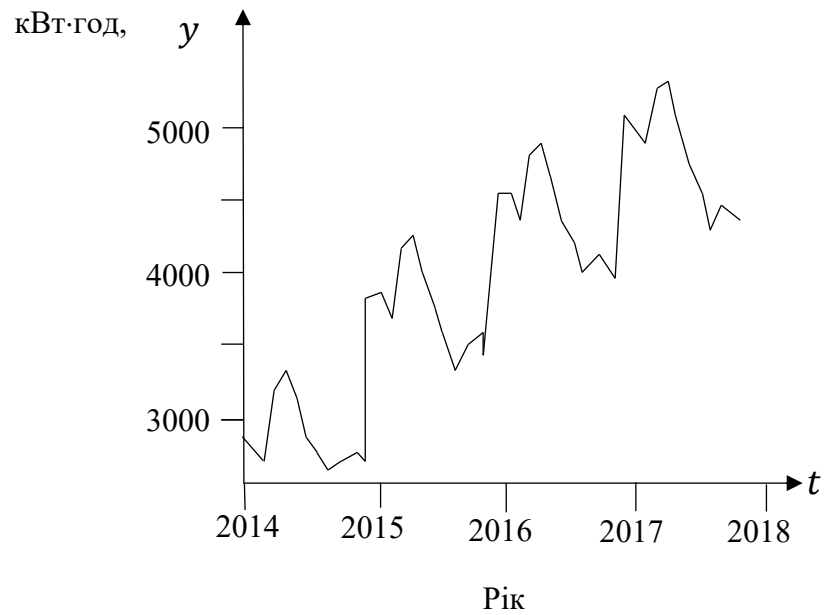


Рисунок 2.4 - Адитивна форма амплітуди сезонних коливань часового ряду

За принципом побудови адитивна трьохпараметрична лінійна модель експоненціального згладжування Холта-Уінтерса аналогічна розглянутій мультиплікативній моделі, за винятком того, що сезонність вважається адитивною. Це означає, що прогнозоване значення для кожного рівня ряду є сумою компонентів ряду, тренду та сезонності.

Як і раніше, позначимо тривалість періоду сезонного коливання як s : для місяців у році тривалість періоду сезонного коливання буде $s = 12$, для днів у тижні – $s = 7$, для кварталів у році – $s = 4$. Тоді для всіх $i > s$ адитивна модель Холта-Уінтерса буде описуватися наступною системою рівнянь.

Рівняння прогнозу на p періодів наперед:

$$\hat{y}_{(t+p)} = L_t + pT_t + S_{(t-s+p)}. \quad (2.8)$$

Рівняння експоненціально згладженого ряду:

$$L_t = \alpha(y_t - S_{(t-s)}) + (1 - \alpha)(L_{(t-1)} + T_{(t-1)}). \quad (2.9)$$

Рівняння компонента тренду:

$$T_t = \beta(L_t - L_{(t-1)}) + (1 - \beta) \cdot T_{(t-1)}. \quad (2.10)$$

Рівняння компонента сезонності:

$$S_t = \gamma(y_t - L_t) + (1 - \gamma) \cdot S_{(t-s)}. \quad (2.11)$$

В адитивній моделі Холта-Уінтерса сезонний компонент виражається в абсолютних величинах в масштабі досліджуваного часового ряду. У рівнянні (2.9) часовий ряд сезонно коригується шляхом віднімання величини сезонного компоненту.

2.6 Вибір значень констант згладжування α , β та γ

Щоб побудувати прогноз за рівняннями (2.4) – (2.11) потрібно обрати значення констант згладжування α , β та γ .

Константа (або постійна) згладжування α . Прогнози за моделями експоненціального згладжування будуються на припущенні, що всі значення часового ряду впливають на прогноз, але кожне з них має свій ваговий коефіцієнт. Цей ваговий коефіцієнт визначається через константу згладжування α , яка змінюється у межах $0 < \alpha < 1$.

Експоненціально зважене середнє – це прогнозне значення, що розраховується на підставі наступної процедури зважування фактичних значень часового ряду:

- саме останнє спостереження отримує найбільшу вагу, яка дорівнює α ;
- попереднє спостереження на відстані одного часового періоду від нього в минуле отримує меншу вагу, яка дорівнює $\alpha \cdot (1 - \alpha)$;
- спостереження за два часові періоди в минуле отримує ще меншу вагу, $\alpha \cdot (1 - \alpha)^2$ і так далі.

Оскільки ваги змінюються в часі експоненціально, так само згладжується і часовий ряд минулих спостережень.

Від величини константи згладжування α залежить, як швидко знижується вага попередніх спостережень і, як наслідок, їх вплив на прогноз. Тому значення, присвоєне α , є ключовим при аналізі часового ряду та побудові прогнозу. Якщо стан досліджуваного процесу стабільний і бажано лише згладжування випадкових змін, то потрібно невелике значення α . Якщо спостерігається швидка зміна у структурі останніх спостережень, то доцільним є більше значення α .

Зазвичай у прогнозах обмежуються інтервалом α від 0,2 до 0,5. Проте більш доцільним є застосування наступних правил при виборі значення α .

По-перше, чим більше значення постійної згладжування ($\alpha \rightarrow 1$), тим менше позначається у прогнозі вплив минулих спостережень (значень попередніх рівнів часового ряду). При великих значеннях постійної згладжування ($\alpha \rightarrow 1$) у прогнозі більшою мірою враховується вплив лише останніх спостережень. Це характерно, наприклад, для фірм, що динамічно розвиваються. Якщо немає достатньої впевненості в початкових даних прогнозування, також слід використовувати велике значення постійної згладжування.

По-друге, чим менше значення постійної згладжування ($\alpha \rightarrow 0$), тим більше при прогнозі враховується вплив минулих спостережень (значень попередніх рівнів часового ряду). При малих значеннях постійної згладжування ($\alpha \rightarrow 0$), згладжена величина визначається значною мірою минулим станом системи. Це характерно, наприклад, для умов стабільного розвитку ринку. Якщо є впевненість, що початкові умови, на підставі яких розробляється прогноз, достовірні, також слід використовувати невелику величину постійної згладжування α . Коли значення постійної згладжування малі, то досліджувана функція поводить себе як середня з великого числа минулих рівнів.

Єдиного підходу до вибору оптимального значення постійної згладжування α не існує. Однак, з точки зору покращення точності прогнозу,

поширеним способом вибору оптимального значення постійної згладжування є визначення мінімальної середньоквадратичної помилки (MSE) для n спостережень.

Для цього послідовно розраховуються прогнози для α рівної 0,1; 0,2 ... 0,9 і для кожного з них розраховується величина середньоквадратичної помилки. Значення α , при якому величина MSE буде мінімальною, обирається у подальшому для побудови прогнозу.

Константа згладжування β . Як вже відомо за допомогою константи згладжування α згладжується рівень ряду. Для згладжування компонента тренду застосовується нова величина - константа згладжування β . Її призначення подібне призначенню константи α , але константа β застосовується лише до тренду. Ця константа згладжування так само змінюється у межах $0 < \beta < 1$.

Константа згладжування γ . Для згладжування сезонності застосовується ще одна нова величина - константа згладжування γ . Її призначення подібне призначенню константи α та β , але константа γ застосовується для згладжування сезонного компоненту. Як і попередні постійні згладжування, ця константа змінюється в межах $0 < \gamma < 1$.

Таким чином, підсумовуючи можна відмітити наступне. Всі константи усувають випадкові флуктуації значень ряду шляхом зважування даних минулих спостережень. Завдяки ним оцінки рівня, тренду та сезонності постійно адаптуються в міру появи нових спостережень.

Константа згладжування рівня змінюється в межах $0 < \alpha < 1$.

Константа згладжування тренду змінюється в межах $0 < \beta < 1$.

Константа згладжування сезонності змінюється в межах $0 < \gamma < 1$.

При виборі значень констант згладжування α , β та γ для кожного реального випадку слід користуватися наступними рекомендаціями.

По-перше, слід чітко розуміти залежність реакції моделі на зміни значень констант:

- чим більшим буде значення ваги, тим більшим буде згладжування даних і тим швидше буде відгук моделі на зміни ряду, тренду та сезонності;
- чим меншим буде значення ваги, тим більш нерівною буде структура згладженого ряду, а реакція моделі на зміни ряду, тренду та сезонності буде слабкою.

По-друге, більшість програмних пакетів для прогнозування використовують алгоритм оптимізації значень констант для мінімізації MSE . Вибір значень констант згладжування α , β та γ має забезпечити мінімальну середньоквадратичну похибку прогнозу MSE .

Зверніть увагу, якщо значення константи $\gamma = 0$, то модель Холта-Уінтерса перетворюється на модель Холта. У випадку, коли значення $\beta = 0$ та $\gamma = 0$, то модель Холта-Уінтерса перетворюється у модель простого експоненціального згладжування.

2.7 Визначення початкових значень згладженого ряду L , тренду T та сезонності S

Перш ніж застосовувати рівняння (2.4) – (2.11), потрібно встановити початкові значення для згладжених рядів L_t , компоненту тренду T_t та компоненту сезонності S_t . Для цього можна застосувати два наступних способи встановлення початкових значень.

Перший спосіб пропонує встановити початкове значення згладженого ряду L_t рівним першому спостереженню:

$$L_t = y_t . \quad (2.12)$$

Тоді компонент тренду дорівнює нулю: $T_t=0$, а компонент сезонності встановлюється рівним одиниці:

$$S_t = 1,0. \quad (2.13)$$

Вибір цього способу, як правило, надає занадто велику вагу першому фактичному значенню у подальших прогнозах згладженого ряду. Втім вплив

першого прогнозу за рівнянням (2.12) значно зменшується зі збільшенням кількості періодів спостережень t в часовому ряді.

За другим способом за початкове значення згладженого ряду L_t береться середнє значення за перший період сезонності для s спостережень:

$$L_t = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s y_i. \quad (2.14)$$

Тоді компонент тренду T_t визначається нахилом лінії, утвореної цими спостереженнями, а компонент сезонності визначається за формулою:

$$S_t = \frac{y_t}{L_t}. \quad (2.15)$$

Цей спосіб доцільно використовувати за наявності великої кількості спостережень.

Вибір способу встановлення початкових значень (2.12) – (2.15) залежить від значень похибки прогнозу. З точки зору покращення точності прогнозу, як і у випадку з константою згладжування, обрання оптимального початкового значення згладженого ряду ґрунтується на визначенні середньоквадратичної помилки прогнозу (MSE) для n спостережень. Обирається той спосіб, що буде надавати мінімальне значення MSE .

2.8 Статистичні методи оцінки похибки прогнозу часових рядів для вибору методу прогнозування енергетичного попиту

Точність прогнозування часто визначається шляхом порівняння значень початкового часового ряду y_1, y_2, \dots із відповідними значеннями прогнозу $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots$. Різницю між спостережуваними (фактичними) значеннями та прогнозними (розрахунковими) значеннями називають похибкою прогнозу.

Похибка прогнозу e_t для даного періоду часу t – це різниця між фактичним спостережуваним значенням та його прогнозним значенням:

$$e_t = y_t - \hat{y}_t. \quad (2.16)$$

Зауважте, що:

- рішення про використання конкретного методу та методики прогнозування частково ґрунтується на визначенні того, чи буде цей підхід створювати такі похибки прогнозу, які вважаються достатньо малими;
- існує реальна можливість знайти такий метод прогнозування, який дозволяє створювати відносно невеликі похибки прогнозу на постійній основі;
- метод прогнозування, який дає хороші результати щодо похибки по одній вибірці даних, може не давати такі результати для іншої вибірки даних.

Існують різні методи оцінки похибки прогнозу (2.16), яка утворюється за певним методом прогнозування часового ряду. Частіше за все використовують методи оцінки похибки прогнозу, які передбачають застосування усередненої функції похибки прогнозу. Такі методи зазвичай застосовуються, щоб:

- порівняти точність різних методів прогнозування;
- визначити доцільність та надійність застосування певного методу чи моделі прогнозування;
- допомогти в пошуку оптимального методу чи моделі прогнозування.

Розглянемо п'ять найбільш типових методів оцінки похибки прогнозу, які засновані на усередненні.

2.8.1 Оцінка точності прогнозу за значенням середнього абсолютного відхилення

Середнє абсолютне відхилення *MAD* (Mean absolute deviation) - це метод оцінки точності прогнозу, за яким оцінюється значення середнього абсолютного відхилення між фактичним і прогнозним значеннями. Якщо є набір даних, що складається з n спостережень, для яких був розрахований прогноз, то середнє абсолютне відхилення розраховується за рівнянням:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|. \quad (2.17)$$

Метод оцінки точності прогнозу за рівнянням (2.17) має наступну інформативність:

- за цим методом неможливо визначити напрямки відхилення прогнозу (збільшення чи зменшення прогнозованої величини відносно фактичної), оскільки середнє абсолютне відхилення MAD - це сума абсолютних значень помилок прогнозу, поділена на кількість періодів часу n , які застосовуються в прогнозі;

- значення MAD має ті самі одиниці, що часовий ряд, оскільки метод використовує суму абсолютних значень похибок прогнозу $|e_t| = |y_t - \hat{y}_t|$.

2.8.2 Оцінка точності прогнозу за значенням абсолютної процентної похибки

Середня абсолютна процентна похибка $MAPE$ (Mean absolute percentage error) – це ще один метод оцінки точності прогнозу, коли корисніше обчислювати помилки прогнозу в процентах. Підхід $MAPE$ особливо корисний, коли значення y_t є великими. Значення середньої абсолютної процентної похибки $MAPE$ розраховується за рівнянням:

$$MAPE = \frac{100 \%}{n} \cdot \sum_{t=1}^n \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t}. \quad (2.18)$$

$MAPE$ визначається шляхом знаходження абсолютної похибки в кожному періоді та діленні цього значення на фактичне спостережуване значення за цей період з подальшим усереднення цих абсолютних помилок за спостережуваний період. Отриманий результат множать на 100 %.

Метод оцінки точності прогнозу за рівнянням (2.18) має наступну інформативність:

- *MAPE* немає фізичних одиниць вимірювання (це проценти);
- *MAPE* можна використовувати для порівняння точності прогнозу для однакових та різних методів прогнозування, що застосовані до двох абсолютно різних часових рядів;
- *MAPE* не може бути обчислена, якщо будь-яке фактичне значення y_t дорівнює нулю.

2.8.3 Оцінка точності прогнозу за значенням середньої процентної похибки

Середня процентна похибка *MPE* (Mean Percentage Error) застосовується, якщо доводиться визначати, чи є метод прогнозування упередженим або іншими словами значення прогнозу стабільно вище або нижче фактичного значення. Свого роду зміщення прогнозу може бути описане як тенденція або до завищення прогнозного значення (прогноз більше фактичного значення), або до заниження прогнозного значення (прогноз менше фактичного значення), що призводить до похибки прогнозування. Середня процентна похибка прогнозу вимірює свого роду «процентне зміщення» і використовується для оцінки точності методики прогнозування.

Формально *MPE* обчислюється шляхом знаходження помилки в кожному періоді, ділення цього на фактичне значення за цей період, а потім усереднення цих помилок та множення отриманого результату на 100%. Середня процентна помилка розраховується за рівнянням:

$$MPE = \frac{100 \%}{n} \cdot \sum_{t=1}^n \frac{e_t}{y_t} = \frac{100 \%}{n} \cdot \sum_{t=1}^n \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t}. \quad (2.19)$$

Метод оцінки точності прогнозу за рівнянням (2.19) має наступну інформативність:

- якщо результат MPE близький до нуля, метод прогнозування є неупередженим;
- якщо результат MPE становить великий негативний процент, метод прогнозування постійно завищує результат;
- якщо результат MPE становить високий позитивний процент, метод прогнозування постійно занижує результат;
- MPE не має фізичних одиниць вимірювання (це процент);
- MPE можна використовувати для порівняння точності одних і тих же або різних методів на двох абсолютно різних часових рядах;
- MPE не можна обчислити, якщо будь-яке фактичне значення y_t за період t дорівнює нулю.

2.8.4 Оцінка точності прогнозу за значенням середньоквадратичної похибки

Середньоквадратична похибка MSE (Mean squared error) – найбільш типовий метод оцінки методу прогнозування. Середньоквадратична похибка обчислюється наступним чином: кожна помилка зводиться в квадрат, потім всі похибки підсумовуються і результат ділиться на кількість спостережень. Середньоквадратична похибка розраховується за наступним рівнянням:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2. \quad (2.20)$$

Метод оцінки точності прогнозу за рівнянням (2.20) має наступну інформативність:

- MSE фіксує наявність великих похибок прогнозування, оскільки кожна похибка зводиться в квадрат;
- MSE застосовується для порівняння методів прогнозування щодо наявності надзвичайно великих похибок.

2.8.5 Оцінка точності прогнозу за значенням кореня квадратного зі середньоквадратичної похибки

Корінь квадратний зі середньоквадратичної похибки $RMSE$ (Root mean squared error) також використовується для оцінки методів прогнозування. Рівняння для $RMSE$ наведено нижче:

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} . \quad (2.21)$$

Метод оцінки точності прогнозу за рівнянням (2.21) має наступну інформативність:

- $RMSE$, визначає наявність великих похибок, але на відміну від MSE має ті самі одиниці, що і прогнозований ряд, тому його величина легше інтерпретується;
- $RMSE$ застосовується, як і MSE , для порівняння методів прогнозування щодо наявності надзвичайно великих похибок.

3 ТЕМА, ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ, МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Прогнозування енергетичного попиту є важливою умовою ефективності прийняття управлінських рішень в енергетиці та системах енергетичного менеджменту і складовою діяльності фахівців, що працюють в сфері впровадження систем енергетичного менеджменту та енергоефективних технологій.

Курсова робота має сприяти систематизації засвоєння теоретичних знань, одержання практичних вмінь і набуття первинного досвіду з науково-практичних досліджень. Тому виконання курсової роботи ґрунтується на засадах наукового підходу до вивчення проблеми. Такий підхід передбачає визначення теми, об'єкту, предмету та мети дослідження.

Згідно усталених підходів тема дослідження має охоплювати фахову проблематику. Під об'єктом дослідження розуміється процес або явище, що породжує проблемну ситуацію. Предмет дослідження міститься в межах об'єкта і віддзеркалює його властивості, атрибути, ознаки чи характеристики. Мета формулює очікуваний результат дослідження, вказує при цьому на об'єкт і предмет дослідження і реалізується через низку конкретних завдань. На підставі цих положень тема, об'єкт, предмет мета, та завдання дослідження були визначені в курсовій роботі наступним чином.

Темою науково-практичного дослідження курсової роботи є «Системи енергетичного менеджменту: прогнозування енергетичного попиту».

Об'єктом науково-практичного дослідження курсової роботи є процес прогнозування енергетичного попиту.

Предметом науково-практичного дослідження курсової роботи є моделі і методи прогнозування енергетичного попиту.

Метою курсової роботи є визначення моделі з найкращою точністю прогнозу енергетичного попиту шляхом застосування аналітичного, математичного та статистичного апарату прогнозування часових рядів за

методом потрійного експоненціального згладжування для покращення ефективності управлінських рішень в системах енергетичного менеджменту та енергетиці.

Досягнення поставленої мети передбачає розв'язок наступних завдань.

1. Обґрунтувати актуальність прогнозування енергетичного попиту для прийняття ефективних управлінських рішень в системах енергетичного менеджменту та енергетиці.

2. Описати аналітичний, математичний та статистичний апарат моделей прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування.

3. Побудувати прогноз енергетичного попиту за моделлю експоненціального згладжування Холта-Уінтерса із застосуванням програмних засобів MS Excel для обчислення та аналізу статистичних даних.

4. Розрахувати статистичні оцінки похибки прогнозів, побудованих за різними значеннями констант згладжування.

5. Провести порівняльний аналіз точності різних прогнозів на підставі отриманих статистичних оцінок похибки прогнозів.

6. Визначити модель, яка дає найкращу точність прогнозу енергетичного попиту для вихідних даних індивідуального завдання.

Вирішення студентом в ході самостійної роботи поставлених завдань сприятиме посиленню здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу; пошуку та обробленню інформації; застосовуванню знань у практичних ситуаціях та прийняттю обґрунтованих рішень. Вивчення аналітичного, математичного і статистичного апарату моделей прогнозування енергетичного попиту поглиблює фахові компетентності та розширює знання для вирішення науково-технічних проблем у сфері електроенергетики. Практична цінність курсової роботи підкріплюється фаховою спрямованістю типового індивідуального завдання та використанням фактичних вихідних статистичних даних для побудови прогнозів.

4 СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

4.1 Загальні вимоги до обсягу та структури пояснювальної записки курсової роботи

Обсяг пояснювальної записки курсової роботи має знаходитися в межах 32-35 сторінок друкованого тексту.

Текст пояснювальної записки викладається українською мовою.

При написанні пояснювальної записки курсової роботи необхідно використовувати стандартизовану термінологію, уникати маловідомих термінів, символів та скорочень, що не є загальноновживаними.

Основними рисами стиля пояснювальної записки курсової роботи мають бути формально-логічний спосіб викладу матеріалу, використання термінологічної лексики, безособовість викладу завдяки вживанню пасивних дієслівних форм («...було розглянуто...», «...слід зазначити що,...», «...доцільно зауважити, що в роботі аналізується...» і т.д.

Пояснювальна записка курсової роботи включає наступні обов'язкові структурні елементи:

- титульний аркуш пояснювальної записки курсової роботи,
- індивідуальне завдання на курсову роботу,
- реферат,
- зміст,
- перелік умовних позначень, символів та скорочень,
- вступ,
- змістовна частина,
- висновки,
- перелік використаних джерел.

Всі зазначені структурні елементи мають подаватися у пояснювальній записці згідно наведеного порядку. Виконана пояснювальна записка курсової роботи має надавати стислий огляд застосованого теоретичного матеріалу,

містити математичні розрахунки та висновки, що оформлюються у вигляді пояснювальної записки. Проведення розрахунків обов'язково супроводжуються стислим аналізом, який свідчить про розуміння сутності застосованих при розрахунках моделей та методів прогнозування. Основні результати, отримані при виконанні індивідуального завдання курсової роботи, надаються у висновках.

4.2 Вимоги до змісту та обсягу структурних елементів пояснювальної записки

Титульний аркуш є першою сторінкою звіту пояснювальної записки курсової роботи і робиться за прикладом, наведеним у Додатку 5.

Індивідуальне завдання на курсову роботу є другою сторінкою курсової роботи. Його зміст надається студенту викладачем і оформлюється згідно з прикладами, наведеними у Додатку 1.

Реферат містить стислий виклад змісту пояснювальної записки курсової роботи, його обсяг складає 2 сторінки. Реферат починається з надання теми, об'єкту, предмету, актуальності, мети та завдань науково-практичного дослідження курсової роботи. Далі наводиться інформація про те, як ці завдання були розв'язані у теоретичній та практичній частинах курсової роботи. При викладанні матеріалу надається стисла характеристика моделей та методів дослідження, наводяться основні науково-практичні результати та стисла оцінка їх точності, робляться висновки про можливі сфери практичного застосування досліджених у роботі моделей та методів, вказується економічна чи соціально-економічна ефективність роботи. Наприкінці надається інформація про структуру пояснювальної записки курсової роботи, повний обсяг роботи в сторінках зі зазначенням кількості таблиць, графічних матеріалів. Закінчується реферат переліком ключових слів. Ключовим словом прийнято називати окреме слово або стійке словосполучення із тексту роботи. Сукупність таких ключових слів повинна

відображати основний зміст роботи (для цього достатньо надати 6-7 ключових слів).

Зміст розташовують після реферату на наступній сторінці. Обсяг «ЗМІСТУ» – до 2 сторінок. У «ЗМІСТІ» наводять такі структурні елементи зі зазначенням номера сторінки початку структурного елемента: «ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ», «ВСТУП». Далі послідовно надаються назви всіх розділів, підрозділів і пунктів змістовної частини зі зазначенням номера сторінки, з якої вони починаються. Назви надаються з вказанням тих номерів, які вони мають у тексті записки. Далі надаються «ВИСНОВКИ», «ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ» зі зазначенням номера сторінки початку структурного елемента. У «Змісті» не рекомендовано розривати слова знаком переносу.

Перелік умовних позначень, символів та скорочень є структурним елементом, який подається безпосередньо після «Змісту», починаючи з наступної сторінки. Перелік містить умовні позначення та символи, які входять до формул чи рівнянь; скорочення та одиниці, які використовуються у тексті пояснювальної записки. Всі елементи, наведені у переліку, супроводжується стислим поясненням, а у тексті їх пояснення наводиться при першому згадуванні. Умовні позначення, символи скорочення та одиниці, які не повторюються у тексті більше двох разів, до переліку не вносяться.

Вступ є структурним елементом, який розміщується починаючи з наступної сторінки після переліку умовних позначень, символів та скорочень. Обсяг вступу складає 2-3 сторінки. У вступі надається тема науково-практичного дослідження курсової роботи та стисло викладається оцінка сучасного стану поставленої проблеми. Далі наводяться об'єкт та предмет науково-практичного дослідження курсової роботи та обґрунтовується актуальність теми, яка розкривається як актуальність об'єкта дослідження і предмета дослідження, формулюється мета дослідження і завдання, які необхідно вирішити для її досягнення.

Змістовна частина є одним з найважливіших структурних елементів пояснювальної записки курсової роботи. Змістовна частина складається з двох розділів. Першим розділом є «1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА КУРСОВОЇ РОБОТИ», обсяг якого складає 10-11 сторінок. Цей розділ містить стислий виклад аналітичного, математичного та статистичного апарату моделі прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування, необхідного для вирішення індивідуального завдання. Другим розділом є «2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА КУРСОВОЇ РОБОТИ», обсяг якого складає 10-11 сторінок. Цей розділ містить постановку завдання, побудову прогнозу енергетичного попиту за обраної моделі, статистичну оцінку похибок прогнозів, їх порівняльний аналіз, визначення моделі, яка дає найкращу точність прогнозу для вихідних даних індивідуального завдання. Кожний розділ закінчується стислими висновками за відповідним розділом.

Висновки є структурним елементом, який розміщують після викладення основної частини пояснювальної записки, починаючи з нової сторінки. Висновки містять найважливіші науково-практичні результати курсової роботи, оцінку точності одержаних результатів, рекомендації щодо можливих сфер практичного застосування досліджених у роботі моделей та методів, економічної чи соціально-економічної ефективності роботи. Обсяг висновків складає 1 сторінку. Текст висновків можна поділяти на пункти.

Перелік використаних джерел є структурним елементом, який розміщують на наступній сторінці після висновків. Перелік містить бібліографічні описи, на які є посилання у тексті. Бібліографічні описи подаються у порядку, за яким джерела вперше згадуються у тексті. Порядкові номери бібліографічних описів у переліку мають відповідати номерним посиланням на них у тексті пояснювальної записки. Бібліографічні описи джерел наводять згідно ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» та ДСТУ 3582:2013 «Інформація та документація. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила».

5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

5.1 Загальні положення

Пояснювальну записку курсової роботи оформлюють відповідно до вимог ДСТУ 3008-2015 «Звіти у сфері науки і техніки».

Текст пояснювальної записки друкується машинним способом за допомогою комп'ютерної техніки на аркушах формату А4 (210х297 мм).

Загальні вимоги до розміщення та форматування тексту наведено далі:

- поля надаються зверху та знизу по 20 мм, з лівого боку – 30 мм, з правого боку – 15 мм;
- вирівнювання основного тексту робиться по ширині аркушу;
- текст друкується шрифтом Times New Roman, кегль – 14 пунктів з 1,5 міжрядковим інтервалом;
- абзацний відступ має бути однаковий упродовж усього основного тексту пояснювальної записки і дорівнювати 1,25 см.

5.2 Оформлення структурних елементів пояснювальної записки курсової роботи

Заголовки наступних структурних елементів пояснювальної записки курсової роботи «ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ ТА ВИХІДНІ ДАНІ», «РЕФЕРАТ», «ЗМІСТ», «ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ», «ВСТУП», «ВИСНОВКИ», «ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ» не нумерують, друкують великими літерами, розташовують посередині рядка без крапки в кінці, не підкреслюють.

Усі заголовки структурних елементів пояснювальної записки розміщуються з нової сторінки.

Розділи і підрозділи пояснювальної записки повинні мати назву.

Заголовки розділів друкують великими літерами, розміщуються з нової сторінки та розташовують посередині рядка без крапки в кінці не

підкреслюючи, наприклад «1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА КУРСОВОЇ РОБОТИ».

Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів нумерують згідно з нумерацією відповідного розділу, друкують маленькими літерами крім першої великої, розташовують з абзацного відступу без крапки в кінці не підкреслюючи.

Не дозволено розміщувати назву підрозділу, а також пункту й підпункту на останньому рядку сторінки.

5.3 Вимоги до нумерації

Нумерація сторінок. Впродовж усього тексту пояснювальної записки нумерація сторінок є наскрізною. Сторінки пояснювальної записки нумеруються арабськими цифрами. Номер сторінки проставляється у правому верхньому куті без крапки в кінці.

Сторінки рахуються починаючи з титульного аркуша, але номери сторінок не проставляються на тих аркушах, що передують структурному елементу «ЗМІСТ».

Нумерація розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів. Розділи записки мають порядкову нумерацію відповідно до викладення матеріалу і нумеруються арабськими цифрами без крапки, наприклад «2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА КУРСОВОЇ РОБОТИ».

Нумерація підрозділів проводиться в межах відповідного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу і порядкового номера підрозділу, відокремленого крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад «1.1», «1.2» і т.д.

Нумерація пунктів проводиться в межах відповідного розділу та підрозділу. Номер пункту складається з номера розділу, порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, які відокремлюються крапками. Після номера пункту крапку не ставлять, наприклад «1.1.1», «1.1.2» і т.д.

5.4 Вимоги до наведення формул та рівнянь

Формули та рівняння розташовуються посередині рядка безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються. На всі формули та рівняння мають бути посилання в тексті пояснювальної записки.

Вище і нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено один вільний рядок від попереднього й наступного тексту.

Перенесення формули чи рівняння на наступний рядок дозволено лише на знаках виконуваних операцій, які пишуть у кінці попереднього рядка та на початку наступного. При перенесенні на знаку множення застосовують позначення «х», а перенесення на знаку ділення «:» слід уникати.

Пояснення позначень (символів і числових коефіцієнтів), які входять до формули чи рівняння, надаються безпосередньо під формулою або рівнянням у послідовності їх наведення у формулі або рівнянні. Пояснення розміщують з нового рядка без абзацного відступу, починаючи зі слова «де» без двокрапки. Позначення з поясненнями вирівнюють у вертикальному напрямку. При необхідності після пояснення символу наводять одиниці його виміру.

Нумерації підлягають лише ті формули та рівняння, на які є посилання в тексті пояснювальної записки. Нумерація надається арабськими цифрами і є порядковою у межах розділу. Номер складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, наприклад, (1.1) - це перша формула першого розділу. Номер надається в дужках у крайньому правому положенні на рядку, де розташована формула.

5.5 Вимоги до оформлення таблиць

Цифровий матеріал пояснювальної записки (масиви даних, результати розрахунків) оформлюється у вигляді таблиць.

На всі таблиці мають бути посилання в тексті пояснювальної записки.

Таблиця розміщується безпосередньо після тексту, в якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На кожну таблицю має бути

посилання в тексті звіту із зазначенням її номера, при цьому слово “таблиця” пишеться скорочено, наприклад, «... наведено в табл. 1.1». При повторних посиланнях згадування подається у дужках, причому вживається скорочення від слова «дивись», наприклад, «(див. табл. 1.1)».

Таблиця надається зі стислою назвою, яка має відбивати її зміст. Таблиці нумеруються арабськими цифрами з порядковою нумерацією в межах розділу. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, «Таблиця 2.1» - це перша таблиця другого розділу. Далі через дефіс друкується назва таблиці маленькими літерами крім першої великої, наприклад, «Таблиця 2.1 — Вихідні дані часового ряду». Це заголовок розміщують над таблицею з абзацного відступу.

Якщо рядки або колонки таблиці виходять за межі формату сторінки, таблицю поділяють на частини. При поділі таблиці на частини допускається її заголовок або боковик замінити відповідно номерами колонок чи рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами у першій частині таблиці. Заголовок таблиці подають лише один раз над першою частиною таблиці. Над іншими частинами таблиці з абзацного відступу друкують «Продовження таблиці» або «Кінець таблиці» без повторення її назви.

Заголовки колонок таблиці починають з великої літери, а підзаголовки - з малої літери, якщо вони становлять одне речення із заголовком. Якщо підзаголовки мають самостійне значення, тоді їх подають з великої літери. У кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять. Форма іменників у заголовках - однина.

5.6 Вимоги до графічних матеріалів

Будь-які графічні матеріали пояснювальної записки (діаграми, графіки, рисунки) підписуються як «Рисунок». Рисунки виконуються в чорно-білому зображенні і розміщуються безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці.

На всі рисунки мають бути посилання в тексті пояснювальної записки.

Нумерація рисунків є порядковою в межах розділу. Номер надається арабськими цифрами і складається з номера розділу та порядкового номера рисунка в цьому розділі, які відокремлюють крапкою. Наприклад, «Рисунок 2.2» - це другий рисунок другого розділу. Пояснювальні дані до рисунка за потреби подають безпосередньо після графічного матеріалу перед назвою рисунка (так званий підрисунковий текст).

Назва має бути конкретною, стислою та відображати зміст рисунка. Назва друкується з великої літери, наприклад, «Рисунок 2.2 – Структура часового ряду з трендом та сезонністю» та розміщується під рисунком посередині рядка. Якщо рисунок створений не автором, він надається з посиланням у квадратних дужках у кінці назви рисунка на джерело, з якого був взятий.

5.7 Правила оформлення бібліографічних описів та посилань

Бібліографічні описи надаються в переліку використаних джерел згідно з ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

Бібліографічні описи подаються в порядку, за яким вони вперше згадуються у тексті пояснювальної записки.

Порядковий номер опису у переліку відповідає номеру посилання в тексті. Посилання в тексті надається у квадратних дужках, наприклад: «... побудова прогнозу відбувається згідно з моделями та методами прогнозування, наведеними в [1]» або «...у роботах [1 - 5]...».

При посиланнях на розділи, підрозділи, пункти, підпункти, таблиці, формули, рівняння зазначають їх номери, наприклад: «... у розділі 2 ...», «...на рисунку 2.1 ...», «...(див. рис. 2.1) ...», «... у таблиці 1.2 ...», «...(див. табл. 1.2) ...», «... за формулою (1.1) ...», «... у рівняннях (2.3) - (2.5) ...».

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Базові джерела

1. Стрелкова Г.Г. Конспект лекцій з дисципліни «Системи енергетичного менеджменту - 2. Управлінська економіка в енергетиці» / Конспект лекцій (на правах рукопису) – 97 с.
2. Управленческая экономика. Инструментарий руководителя. 5-е изд.: Пер. с англ. / Кит П., Янг Ф. – СПб.: Питер, 2008. – 624 с.
3. Управленческая экономика. - 7-е изд.: Пер. с англ. / Сно К.К. - М.: ИНФРА - М. 2000. – 671 с.
4. Бизнес-прогнозирование. - 7-е изд.: Пер. с англ. / Ханк Д.Э., Уичерн Д.У., Райте А.Дж. – М.: Издательский дом " Вильямс ", 2003. – 656 с.

Допоміжні джерела

1. Тимчасове положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського [Текст] / Уклад. В. П. Головенкін; за заг. ред. Ю.І. Якименка. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 156 с.
2. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [На заміну ДСТУ 3008-95; чинний від 2017-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
3. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Уведено вперше; чинний від 2016-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 17 с.
4. ДСТУ 3582:2013. Інформація та документація. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила (ISO 4:1984, NEQ; ISO 832:1994, NEQ) / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [На заміну ДСТУ 3582–97; чинний від 2013–08–22]. – Київ : Мінекономрозвитку.

5. Основи наукових досліджень [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітніми програмами «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» і «Енергетичний менеджмент», спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Г. Г. Стрелкова, М. М. Федосенко, А. І. Замулко, О. С. Іщенко. – Електронні текстові дані (1 файл: 364 Кбайт). – Київ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 120 с. – Назва з екрана.

Інформаційні ресурси

1. Положення про систему запобігання плагіату в академічних текстах працівників та здобувачів вищої освіти КПІ ім. Ігоря Сікорського / Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 11 с. : [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://htks.kpi.ua/files/Documents/plagiat.pdf>

2. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII / Верховна Рада України : [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>

ДОДАТОК 1. Приклади типового змісту індивідуального завдання

Індивідуальне завдання: «Мультиплікативна модель Холта-Уінтерса»

Тема науково-практичного дослідження курсової роботи: «Системи енергетичного менеджменту: прогнозування енергетичного попиту».

Об'єкт дослідження: процес прогнозування енергетичного попиту.

Предмет дослідження: моделі і методи прогнозування енергетичного попиту.

Мета дослідження: визначення моделі з найкращою точністю прогнозу енергетичного попиту шляхом застосування аналітичного, математичного та статистичного апарату прогнозування часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування для покращення ефективності управлінських рішень в системах енергетичного менеджменту та енергетиці.

Завдання дослідження.

1. Обґрунтувати актуальність прогнозування енергетичного попиту для прийняття ефективних управлінських рішень в системах енергетичного менеджменту та енергетиці.

2. Описати аналітичний, математичний та статистичний апарат моделей прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування.

3. Побудувати прогноз енергетичного попиту за мультиплікативною трьохпараметричною лінійною сезонною моделлю експоненціального згладжування Холта-Уінтерса із застосуванням програмних засобів MS Excel для обчислення та аналізу статистичних даних.

4. Розрахувати статистичні оцінки похибки прогнозів, побудованих за різними значеннями констант згладжування.

5. Провести порівняльний аналіз точності різних прогнозів на підставі отриманих статистичних оцінок похибки прогнозів.

6. Визначити модель, яка дає найкращу точність прогнозу енергетичного попиту для вихідних даних індивідуального завдання.

Індивідуальне завдання: «Адитивна модель Холта-Уінтерса»

Тема науково-практичного дослідження курсової роботи: «Системи енергетичного менеджменту: прогнозування енергетичного попиту».

Об'єкт дослідження: процес прогнозування енергетичного попиту.

Предмет дослідження: моделі і методи прогнозування енергетичного попиту.

Мета дослідження: визначення моделі з найкращою точністю прогнозу енергетичного попиту шляхом застосування аналітичного, математичного та статистичного апарату прогнозування часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування для покращення ефективності управлінських рішень в системах енергетичного менеджменту та енергетиці.

Завдання дослідження.

1. Обґрунтувати актуальність прогнозування енергетичного попиту для прийняття ефективних управлінських рішень в системах енергетичного менеджменту та енергетиці.
2. Описати аналітичний, математичний та статистичний апарат моделей прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування.
3. Побудувати прогноз енергетичного попиту за адитивною трьохпараметричною лінійною сезонною моделлю експоненціального згладжування Холта-Уінтерса із застосуванням програмних засобів MS Excel для обчислення та аналізу статистичних даних.
4. Розрахувати статистичні оцінки похибки прогнозів, побудованих за різними значеннями констант згладжування.
5. Провести порівняльний аналіз точності різних прогнозів на підставі отриманих статистичних оцінок похибки прогнозів.
6. Визначити модель, яка дає найкращу точність прогнозу енергетичного попиту для вихідних даних індивідуального завдання.

ДОДАТОК 2. Приклади варіантів вихідних даних

Варіант 1. Вихідні дані

Енергетична компанія «N» здійснює постачання електричної енергії комерційному підприємству «Товари легкої промисловості». Обсяги попиту підприємства на електричну енергію (y_t) за 2015-2018 рр. наведені в таблиці.

Таблиця - Обсяги попиту підприємства на електричну енергію за 2015-2018 рр.

квартал/рік	y_t , тис. кВт · год
I/2015	18,67
II/2015	15,40
III/2015	19,20
IV/2015	16,32
I/2016	18,86
II/2016	15,04
III/2016	20,11
IV/2016	17,20
I/2017	18,53
II/2017	15,61
III/2017	20,62
IV/2017	16,17
I/2018	17,77
II/2018	14,79
III/2018	20,60
IV/2018	16,24

Визначити прогноз щоквартального попиту підприємства на електричну енергію на 2019 рік. При побудові прогнозів за трьохпараметричною лінійною сезонною моделлю експоненціального згладжування Холта-Уінтерса використати наступні параметри.

Прогноз №1. Константи згладжування: $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,5$; $\gamma = 0,3$.

Прогноз №2. Константи згладжування: $\alpha = 0,5$; $\beta = 0,3$; $\gamma = 0,1$.

Прогноз №3. Константи згладжування: $\alpha = 0,3$; $\beta = 0,1$; $\gamma = 0,5$.

При побудові прогнозів №1, №2, №3 прийняти початкове значення згладженого ряду L_t рівним першому спостереженню:

$$L_t = y_t .$$

Варіант 2. Вихідні дані

Енергетична компанія «N» здійснює постачання електричної енергії комерційному підприємству «Виробництво побутових товарів та обслуговування». Обсяги попиту підприємства на електричну енергію (y_t) за 2015-2018 рр. наведені в таблиці.

Таблиця - Обсяги попиту підприємства на електричну енергію за 2015-2018 рр.

квартал/рік	y_t , тис. кВт · год
I/2015	14,41
II/2015	12,09
III/2015	15,26
IV/2015	13,21
I/2016	14,14
II/2016	11,87
III/2016	14,11
IV/2016	11,85
I/2017	12,84
II/2017	11,25
III/2017	14,93
IV/2017	11,92
I/2018	13,27
II/2018	11,02
III/2018	14,69
IV/2018	12,13

Визначити прогноз щоквартального попиту підприємства на електричну енергію на 2019 рік. При побудові прогнозів за трьохпараметричною лінійною сезонною моделлю експоненціального згладжування Холта-Уінтерса використати наступні параметри.

Прогноз №1. Константи згладжування: $\alpha = 0,2$; $\beta = 0,4$; $\gamma = 0,5$.

Прогноз №2. Константи згладжування: $\alpha = 0,5$; $\beta = 0,2$; $\gamma = 0,4$.

Прогноз №3. Константи згладжування: $\alpha = 0,4$; $\beta = 0,5$; $\gamma = 0,2$.

При побудові прогнозів №1, №2, №3 прийняти початкове значення згладженого ряду L_t рівним середньому значенню за перший період сезонності для s спостережень:

$$L_t = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s y_i .$$

ДОДАТОК 3. Орієнтовний перелік питань, які виносяться на захист курсової роботи

Тема 1. Характеристика курсової роботи за темою «Системи енергетичного менеджменту: прогнозування енергетичного попиту»

1. Визначити актуальність теми курсової роботи.
2. Пояснити основне призначення прогнозування в управлінській економіці в енергетичному секторі.
3. Надати визначення об'єкту, предмету, мети і завдань курсової роботи.

Тема 2. Аналітичний, математичний та статистичний апарат моделей прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування

1. Охарактеризувати властивості часового ряду та принципи його декомпозиції.
2. Навести статистичні методи оцінки похибки прогнозів.
3. Описати моделі прогнозу часових рядів за методом потрійного експоненціального згладжування.
4. Навести основні положення мультиплікативної трьохпараметричної моделі експоненціального згладжування Холта-Уінтерса.
5. Навести основні положення адитивної трьохпараметричної моделі експоненціального згладжування Холта-Уінтерса.
6. Пояснити сутність констант згладжування α , β та γ .
7. Описати вибір значень констант згладжування α , β та γ .
8. Описати визначення початкових значень згладженого ряду L , тренду T та сезонності S .

Тема 3. Побудова прогнозу енергетичного попиту за трьохпараметричної моделі експоненціального згладжування Холта-Уінтерса

1. Пояснити алгоритм побудови прогнозу за трьохпараметричної моделі експоненціального згладжування Холта-Уінтерса в MS Excel.
2. Пояснити, які статистичні оцінки похибки прогнозів розраховуються у курсовій роботі.
3. Пояснити, навіщо проводиться порівняльний аналіз значень похибки прогнозів та на підставі чого обирається найкраща модель прогнозування.

ДОДАТОК 4. Рейтингова система оцінювання результатів навчання

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

з кредитного модуля

«СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ - 2. КУРСОВА РОБОТА»

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

спеціальність 141. Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

(шифр і назва)

освітня програма Освітньо-наукова програма магістерської
підготовки «Системи енергозабезпечення»

(ОПП/ОНП, назва)

форма навчання денна

(денна/заочна)

Київ – 2019

Вступ. Результати навчання студентів при календарній та семестровій атестаціях оцінюються на підставі рейтингової системи оцінювання (PCO), основою якої є операційний контроль навчання студентів і накопичення рейтингових балів за навчально-пізнавальну діяльність студентів. PCO складено відповідно до робочої програми кредитного модуля «Системи енергетичного менеджменту - 2. Курсова робота» для студентів другого рівня вищої освіти зі спеціальності: 141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньо-наукової програми магістерської підготовки «Системи енергозабезпечення» за денною формою навчання. Структура кредитного модуля «Системи енергетичного менеджменту - 2. Курсова робота» з рекомендованим розподілом навчального часу за видами занять згідно з робочим навчальним планом наведена у Табл. 1.

Таблиця 1 - Структура кредитного модуля з розподілом часу за видами занять

Форма навчання	Кредитний модуль	Всього		Розподіл навчального часу за видами занять				Семестрова атестація
		кредитів	годин	Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	СРС	
Денна	1	1	30	0	0	0	30	залік

1. Загальні принципи побудови PCO з кредитного модуля навчальної дисципліни. Семестровим контролем кредитного модуля є залік, який проводиться у формі захисту курсової роботи. Розмір шкали PCO з кредитного модуля (R) дорівнює 100 балам. Межа незадовільного навчання в університеті дорівнює 59 балам. Сума вагових балів кредитного модуля (R_K) має дорівнювати розміру шкали PCO:

$$R = \sum R_K = 100 \text{ балів.}$$

Студент може отримати додаткові заохочувальні бали (R_3), сума яких не має перевищувати $0,1R$:

$$\sum R_3 \leq 0,1R.$$

Підсумкова залікова оцінка $R_{\text{залік}}$ складається з рейтингового балу студента (RD) та балів, отриманих за захист курсової роботи ($r_{\text{ЗКР}}$):

$$R_{\text{залік}} = RD + r_{\text{ЗКР}}.$$

2. Правила визначення рейтингового балу студента. Рейтинговий бал студента (RD) складається з балів, отриманих студентом за результатами поточного контролю (r_{K_i}), та заохочувальних і штрафних балів ($r_{\text{ЗШі}}$):

$$RD = \sum r_{K_i} + \sum r_{\text{ЗШі}}.$$

Сума балів поточного контролю складається з балів, які студент отримує за виконання двох наступних видів контрольних заходів:

$$\sum r_{K_i} = r_{K_1} + r_{K_2}.$$

Перший вид контрольного заходу r_{K_1} оцінює рівень засвоєння первинного вихідного теоретичного матеріалу за темою курсової роботи. Максимальна оцінка за цей вид контрольного заходу за наявності у студента занотованого теоретичного матеріалу за темою курсової роботи складає $r_{K_1} = 10$ балів.

Другий вид контрольного заходу оцінює якість виконання пояснювальної записки з курсової роботи. Максимальна оцінка за другий вид контрольного заходу $r_{K_2} = 45$ балів.

Максимальна оцінка за захист курсової роботи $r_{\text{ЗКР}} = 45$ балів.

Визначення додаткових заохочувальних і штрафних балів проводиться за наступним правилом. Максимальне значення суми заохочувальних і штрафних балів $\sum r_{\text{ЗШі}}$ не повинно перевищувати 10 балів.

3. Правила оцінювання контрольних заходів і захисту курсової роботи. Розподіл можливих балів визначається за наступними правилами:

відмінно – повна правильна відповідь (не менше 95% потрібної інформації), що складає (1...0,95) від максимально можливого балу;

дуже добре – повна відповідь, але з незначними неточностями, що складає (0,94...0,85) від максимально можливого балу;

добре – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), що складає (0,84...0,75) від максимально можливого балу;

задовільно – неповна відповідь та деякі помилки, що складає (0,74...0,65) від максимально можливого балу;

достатньо - відповідь, яка задовольняє лише мінімальні критерії (не менше 60% потрібної інформації), що складає (0,64...0,60) від максимально можливого балу;

незадовільно – відповідь, яка не відповідає вимогам на «достатньо», 0 балів.

4. Правила нарахування заохочувальних і штрафних балів:

–відсутність проходження контролю зі засвоєння первинного вихідного теоретичного матеріалу за темою курсової роботи: - 2 бали;

–несвоєчасна здача пояснювальної записки: - 2 бали;

–несвоєчасний захист курсової роботи: - 2 бали;

–вчасна здача якісно виконаної пояснювальної записки: +2 бали;

–вчасний успішний захист курсової роботи: +2 бали.

5. Правила проведення календарної атестації і критерії оцінювання результатів навчання. Календарна атестація студентів проводиться на 8 і 14 тижнях семестру за результатами поточного рейтингу студента на час атестації. На час першої атестації максимально можливе значення рейтингу дорівнює 10 балам і складається з балів, отриманих за перший вид контрольного заходу. На час другої атестації максимально можливе значення рейтингу дорівнює 55 балам і складається з балів, отриманих за перший та другий вид контрольного заходу. При позитивній атестації значення рейтингу має бути не менше 50 % від максимально можливого на час атестації, такі результати навчання в атестаційній відомості оцінюються як «атестовано» («А»). При незадовільній атестації значення поточного рейтингу студента менше, ніж 50 % від максимально можливого на час атестації, такі результати навчання оцінюються як «неатестовано» («НА»).

6. Семестровий контроль

6.1 Умови допуску до заліку. Студент не допускається до семестрового контролю, якщо має незадовільні обидві атестації, а також якщо до початку семестрового контролю не отримав позитивну оцінку за пояснювальну записку з курсової роботи. Для отримання допуску студент повинен підвищити свій рейтинг шляхом переробки пояснювальної записки згідно встановлених вимог.

6.2 Процедура проведення заліку. Залік проводиться під час залікового тижня у формі захисту, який є підсумковим видом контрольного заходу з кредитного модуля. Метою заліку є визначення рівня ефективності засвоєння студентом навчального матеріалу, систематизація і закріплення знань студента з кредитного модуля. Для проведення заліку застосовується наступна методика: захист курсової роботи проводиться перед комісією і може включати додаткові питання за темою курсової роботи або з дисципліни, які задаються комісією.

6.3 Визначення залікової оцінки. Сума рейтингового балу студента (RD), з яким він виходить на захист курсової роботи, та балів, отриманих за захист курсової роботи ($r_{зкр}$), переводиться до залікової оцінки згідно університетської шкали оцінювання знань для переведення рейтингових балів студента до залікових оцінок (Табл. 2).

Таблиця 2 - Значення університетської шкали оцінювання знань для переведення рейтингових балів студента до залікових оцінок

Рейтингові бали	Традиційна оцінка
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо (задовольняє мінімальні критерії)
Менш ніж 60	Незадовільно
Невиконання умов допуску до семестрової атестації	Не допущений

Успішними є оцінки «відмінно», «дуже добре», «добре», «задовільно», «достатньо», а негативною є оцінка «незадовільно».

Результати семестрового контролю (рейтингові бали та традиційна оцінка) вносяться у заліково-екзаменаційну відомість та залікову книжку студента.

6.4. Перескладання заліку. Отримання студентом незадовільної оцінки за пояснювальну записку та захист потребує перескладання заліку, яке проводиться поза екзаменаційною сесією за тією ж методикою. Перескладання заліку допускається не більше двох разів. При другому перескладанні залік у студента може приймати комісія, яка створюється директором інституту. Оцінка, отримана студентом у результаті другого перескладання заліку, є остаточною.

Склала: доцент кафедри електропостачання Стрелкова Г.Г.

(посада викладача, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Ухвалено на засіданні кафедри електропостачання

(назва кафедри)

Протокол № 17 від “ 21 ” червня 2019 року

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

В.А. Попов

(ініціали, прізвище)

ДОДАТОК 5. Титульний аркуш пояснювальної записки курсової роботи

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«СИСТЕМИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ - 2.
КУРСОВА РОБОТА»
(назва кредитного модуля)

на тему «Системи енергетичного менеджменту:
прогнозування енергетичного попиту»

Студента(ки) курсу _____ групи _____
спеціальності 141. Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(прізвище та ініціали)

Керівник: _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь)

(прізвище та ініціали)

Оцінка: _____

Кількість балів: _____

Члени комісії: _____	_____	_____
(підпис)	(вчене звання, науковий ступінь)	(прізвище та ініціали)
_____	_____	_____
(підпис)	(вчене звання, науковий ступінь)	(прізвище та ініціали)
_____	_____	_____
(підпис)	(вчене звання, науковий ступінь)	(прізвище та ініціали)

Київ 20__